



Attorney Docket # 5367-45

Patent

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of

Tony ALBRECHT

Serial No.: 10/679,153

Filed: October 10, 2003

For: Optically Pumped Semiconductor Laser
and Method for Producing the Same

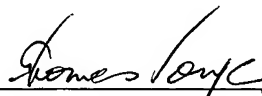
Mail Stop
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

LETTER TRANSMITTING PRIORITY DOCUMENT

SIR:

In order to complete the claim to priority in the above-identified application under 35 U.S.C. §119, enclosed herewith is a certified copy of each foreign application on which the claim of priority is based: Application No. **102 48 768.5**, filed on October 18, 2002, in Germany.

Respectfully submitted,
COHEN, PONTANI, LIEBERMAN & PAVANE

By 
Thomas Langer
Reg. No. 27,264
551 Fifth Avenue, Suite 1210
New York, New York 10176
(212) 687-2770

Dated: February 26, 2004

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 48 768.5

Anmeldetag: 18. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: Osram Opto Semiconductors GmbH, Regensburg/DE

Bezeichnung: Optisch gepumpte Halbleiterlaservorrichtung und
Verfahren zur Herstellung derselben

IPC: H 01 S 5/40

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 26. September 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Ebert

Beschreibung

Optisch gepumpte Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zur Herstellung derselben

5

Die Erfindung betrifft eine optisch gepumpte Halbleiterlaservorrichtung mit einem Substrat mit einer ersten Hauptfläche und einer zweiten Hauptfläche, wobei auf der ersten Hauptfläche ein Pumplaser und ein von dem Pumplaser optisch gepumpter
10 vertikal emittierenden Laser angeordnet sind. Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Herstellung einer derartigen Halbleiterlaservorrichtung.

15

Eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung ist beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE 100 26 734 A1 bekannt. Dort werden die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur und eine als Pumpstrahlungsquelle dienende kantenemittierende Halbleiterstruktur auf einem gemeinsamen Substrat epitaktisch nacheinander aufgebracht.

20

Dabei wird nach dem Aufwachsen und Strukturieren der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur die monolithische Pumpstrahlungsquelle in einem zweiten Epitaxieschritt so aufgewachsen, daß deren Wellenleiter möglichst exakt auf die
25 strahlungserzeugende Quantentopfstruktur ausgerichtet sind. Die Schichtdicken der einzelnen Halbleiterschichten lassen sich bei der Epitaxie sehr genau einstellen, so daß vorteilhafterweise eine hohe Positioniergenauigkeit der kantenemittierenden Halbleiterstruktur zur strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur erreicht wird. Der Herstellungsaufwand für
30 eine solche Halbleiterlaservorrichtung ist durch die zweite Epitaxie allerdings beträchtlich.

35

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, die mit geringerem Aufwand und zu geringeren Kosten herzustellen ist.

Diese Aufgabe wird durch die optisch gepumpte oberflächen-emittierende Halbleiterlaservorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 1 und ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruches 10 gelöst. Weitere Ausgestaltungen und bevorzugte Weiterbildungen gehen aus den Unteransprüchen 2 bis 9 und 11 bis 17 hervor.

Erfindungsgemäß ist bei einer optisch gepumpten Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art vorgesehen, dass die erste Hauptfläche des Substrats strukturiert ist und erste, höher liegende Bereiche sowie zweite, tiefer liegende Bereiche aufweist. Der Pumplaser ist dabei auf einem höher liegenden Bereich des Substrats angeordnet, und der vertikal emittierende Laser über Zwischenschichten auf einem tiefer liegenden Bereich des Substrats, wobei der Höhenunterschied zwischen den ersten und zweiten Bereichen des Substrats und die Schichtdicke der Zwischenschichten derart gewählt sind, dass der Pumplaser und der vertikal emittierende Laser auf gleicher Höhe liegen.

20

Die Erfindung beruht grundsätzlich auf dem Gedanken, durch Verwendung eines strukturierten Wachstumssubstrats zu ermöglichen, dass die Schichtstrukturen des Pumplasers und des vertikal emittierenden Lasers in einem einzigen epitaktischen Schritt gewachsen werden können. Durch Einstellung der Substratstrukturgrößen und Schichtdicken aufeinander kann sichergestellt werden, dass im Betrieb die Pumpstrahlung des Pumplasers in den vertikal emittierenden Laser gelangt und dort absorbiert wird.

30

Insbesondere ist vorgesehen, daß der Pumplaser durch eine Halbleiterschichtfolge gebildet ist und daß die Zwischenschichten die Halbleiterschichtfolge des Pumplasers umfassen.

35

In einer bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung ist darüber hinaus vorgesehen, dass die Zwischenschichten eine Spiegelschicht umfassen, die einen

Spiegel eines Resonators für den vertikal emittierenden Laser bildet. Ein zweiter Resonatorspiegel kann etwa auf der den vertikal emittierenden Laser bildenden Schichtenfolge aufgebracht sein oder durch einen externen Spiegel gebildet werden.
5

Die ersten, höher liegenden Bereiche und die zweiten, tiefer liegenden Bereiche des Substrats sind vorteilhaft durch vorspringende Stege voneinander getrennt. Die vorspringenden Stege sind zweckmäßig für die von dem Pumplaser erzeugte Strahlung transparent. Wird etwa GaAs als Substratmaterial verwendet, so sind die Substratstege für Wellenlängen größer als 920 nm durchlässig.
10

In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung ist die Spiegelschicht als Bragg-Spiegel ausgebildet.
15

In diesem Zusammenhang ist es bevorzugt, wenn der vertikal emittierende Laser durch eine Halbleiterschichtenfolge gebildet ist, die als strahlungserzeugende aktive Schicht eine Quantentopfstruktur aufweist.
20

Zweckmäßig wird im Betrieb die von dem Pumplaser erzeugte Strahlung zum Pumpen des vertikal emittierenden Lasers in lateraler Richtung in eine aktive Schicht des vertikal emittierenden Lasers eingekoppelt.
25

Das Substrat ist bei einer bevorzugten Aufgestaltung der erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtung aus GaAs gebildet.
30

Ein Verfahren zur Herstellung einer optisch gepumpten Halbleiterlaservorrichtung mit einem optisch vertikal emittierenden Laser und zumindest einem Pumplaser, weist erfindungsgemäß folgende Schritte auf:
35

- Bereitstellen eines strukturierten Substrats, das erste, höher liegende Bereiche und zweite, tiefer liegende Bereiche aufweist;

- Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge auf das Substrat;
- Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge mit einer strahlungserzeugenden aktiven Schicht, wobei die Höhenunterschiede zwischen den ersten und zweiten Bereichen des Substrats derart ausgebildet sind, dass die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge der ersten Bereiche mit der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge der zweiten Bereiche auf gleicher Höhe liegt um im Betrieb einen Pumplaser für den optisch vertikal emittierenden Laser zu bilden; und
- Entfernen von über der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge angeordneten Schichten in den ersten Bereichen, um dort die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge freizulegen.

In einer bevorzugten Ausgestaltung wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auf die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge eine Spiegelschicht aufgebracht. Die oberflächenemittierende Halbleiterschichtenfolge wird dann auf die Spiegelschicht aufgebracht.

Mit Vorteil werden nach dem Entfernen der über der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge angeordneten Schichten Kontakte auf die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge der ersten Bereiche aufgebracht.

Der Schritt des Bereitstellens eines strukturierten Substrats umfasst bevorzugt das Trockenätzen eines planaren Substrats, um die ersten, höher liegenden Bereiche und die zweiten, tiefer liegenden Bereiche zu erzeugen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung des Ausführungsbeispiels und den Zeichnungen.

Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Dabei zeigt

5

Figur 1 eine schematische Schnittansicht einer optisch gepumpten Halbleiterlaservorrichtung nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und

10 Figuren 2 und 3 Zwischenschritte bei der Herstellung der Halbleiterlaservorrichtung der Fig. 1 in schematischer Darstellung.

Figur 1 zeigt eine schematische Schnittansicht einer allgemein mit 10 bezeichneten optisch gepumpten Halbleiterlaservorrichtung nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Die Halbleiterlaservorrichtung 10 enthält ein Substrat 12 mit einer ersten Hauptfläche 14 und einer zweiten Hauptfläche 16. Die erste Hauptfläche 14 des Substrats ist strukturiert und weist höher liegende Bereiche 20 und tiefer liegende Bereiche 18 auf, die durch Substratstege 22 voneinander getrennt sind. Auf den höher liegenden Bereichen 20 des Substrats sind im Ausführungsbeispiel zwei Pumplaser 30 aufgewachsen. Auf dem tiefer liegenden Bereich 18 ist über eine Reihe von Zwischenschichten 50, 30', die nachfolgend genauer erläutert werden, ein vertikal emittierender Laser 40 aufgewachsen.

Die Pumplaser 30 enthalten neben weiteren, nicht dargestellten Schichten, jeweils eine erste Wellenleiterschicht 32, eine strahlungserzeugende aktive Schicht 34 und eine zweite Wellenleiterschicht 36. Oberseitenkontakte 62 und ein Unterseitenkontakt 60 dienen der Stromversorgung der Pumplaser 30.

Der vertikal emittierende Laser 40 umfasst eine strahlungserzeugende aktive Schicht 44, beispielsweise eine Mehrfach-

Quantentopfstruktur, die zwischen zwei Wellenleiterschichten 42 und 46 eingebettet ist.

Der Höhenunterschied Δ zwischen den höher liegenden Substrat-
5 bereichen 20 und den tiefer liegenden Substratbereichen 18
und die Schichtdicke der Zwischenschichten 50 und 30' ist so
aufeinander abgestimmt, daß die aktiven Schichten 34 der
Pumplaser 30 und die aktive Schicht 44 des vertikal emittie-
renden Lasers 40 auf gleiche Höhe justiert sind. Die
10 Pumpstrahlung der Pumplaser 30 wird dann im Betrieb der Vor-
richtung lateral exakt in die aktive Schicht 44 eingekoppelt
und dort absorbiert.

Die unterhalb des vertikal emittierenden Lasers 40 angeordne-
15 ten Zwischenschichten umfassen einen verteilten Bragg-Spiegel
(DBR, distributed Bragg reflector) 50, der beispielsweise aus
einigen zehn Perioden undotierter $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ - und $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ -
Schichten gebildet ist und eine hohe Reflektivität $> 99\%$ auf-
weist.

20 Unterhalb des Bragg-Spiegels 50 ist eine Halbleiterschicht-
folge 30' angeordnet, die in der Abfolge ihrer Schichten ex-
akt der des Pumplasers 30 entspricht, da sie gleichzeitig mit
diesem auf das strukturierte Substrat aufgewachsen wurde.

25 Insgesamt ermöglicht die gezeigte Gestaltung, die Strukturen
der Pumplaser 30 und des vertikal emittierenden Lasers 40 in
einem einzigen epitaktischen Schritt zu wachsen. Dies wird
wie nachfolgend mit Bezug auf die in den Figuren 2 und 3 dar-
30 gestellten Zwischenschritte bei der Herstellung der Halblei-
terlaservorrichtung 10 näher erläutert.

In einem ersten Schritt werden in das GaAs-Substrat 12 durch
ein Trockenätzverfahren Stufen eingeätzt, so daß höher lie-
35 gende Bereiche 20 und tiefer liegende Bereiche 18 entstehen,
die durch dünne Substratstege 22 voneinander getrennt sind.
Die Stufenhöhe Δ ergibt sich dabei im Zusammenhang mit der

Schichtdicke der Pumplaserschichten 30' und des Bragg-Spiegels 50 aus der späteren Ausrichtung der Wellenleiterschichten der Pumplaser 30 auf die aktive Schicht des vertikal emittierenden Lasers 40. Die Höhe S der Substratstege ergibt sich aus der Gesamtdicke der in den nachfolgenden Schritten (Fig. 3) aufgewachsenen Halbleiterschichten. Das nach diesen Vorgaben strukturierte GaAs-Substrat 12 ist in der Figur 2 dargestellt.

10 Nunmehr werden nacheinander die Schichtenfolgen 30 bzw. 30' für den kantenemittierenden Pumplaser, die Schichtenfolgen 50 bzw. 50' für den Bragg-Spiegel und die Schichtenfolgen 40 bzw. 40' für den vertikal emittierenden Laser aufgewachsen, wie in der Darstellung der Fig. 3 gezeigt. Auf die tiefer
15 liegenden Bereiche 18 und die höher liegenden Bereiche wird dabei dieselbe Abfolge von Halbleiterschichten aufgebracht. Die geeignete Wahl der Schichtdicke der Schichtenfolge des Pumplasers, des Bragg-Spiegels und des Höhenunterschieds Δ stellt sicher, daß die Wellenleiter des Pumplasers 30 zum optimalen lateralen Pumpen exakt auf die aktive Zone 44 des
20 vertikal emittierenden Lasers 40 justiert sind.

Nachfolgend werden die nicht benötigten Schichten 40' und 50' entfernt, wodurch die Pumplaser 30 der höher liegenden Substratbereiche 20 freigelegt werden. Bei diesem Schritt werden
25 auch die Substratstege 22 in einem oberen Bereich 22' entfernt. Anschließend werden die Kontakte 60 und 62 für die Stromzuführung des Pumplasers 30 aufgebracht und die einzelnen Halbleiterlaservorrichtungen werden in bekannter Weise
30 strukturiert und vereinzelt (Fig. 1).

Gegenüber bekannten Gestaltungen bietet das erfindungsgemäße Aufwachsen der Pumplaser 30 und des vertikal emittierenden Lasers 40 in einem Epitaxieschritt den Vorteil deutlich ver-
35 ringter Herstellungskosten. Dazu ist das Aufwachsen von epitaktischen Schichten auf GaAs technologisch einfacher als das ansonsten erforderliche Aufwachsen auf AlGaAs-Schichten

bzw. AlGaAs-Substraten. Das Überwachsen von AlGaAs-Schichten kann bei der erfindungsgemäßen Lösung entfallen.

Während die Erfindung insbesondere mit Bezug auf bevorzugte
5 Ausführungsbeispiele gezeigt und beschrieben worden ist, versteht sich für den Fachmann, dass Änderungen in Gestalt und Einzelheiten gemacht werden können, ohne von dem Gedanken und Umfang der Erfindung abzuweichen. Dementsprechend soll
10 die Offenbarung der vorliegenden Erfindung nicht einschränkend sein. Statt dessen soll die Offenbarung der vorliegenden Erfindung den Umfang der Erfindung veranschaulichen, der in den nachfolgenden Ansprüchen dargelegt ist.

Patentansprüche

1. Optisch gepumpte Halbleiterlaservorrichtung mit einem Substrat (12) mit einer ersten Hauptfläche (14) und einer zweiten Hauptfläche (16), wobei auf der ersten Hauptfläche (14) ein Pumplaser (30) und ein von dem Pumplaser (30) optisch gepumpter vertikal emittierender Laser (40) angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß
- die erste Hauptfläche (14) des Substrats (12) strukturiert ist und erste, höher liegende Bereiche (20) sowie zweite, tiefer liegende Bereiche (18) aufweist,
 - der Pumplaser (30) auf einem höher liegenden Bereich (20) des Substrats (12) angeordnet ist, und
 - der vertikal emittierende Laser (40) über Zwischenschichten (50, 30') auf einem tiefer liegenden Bereich (18) des Substrats (12) angeordnet ist,
- wobei der Höhenunterschied (Δ) zwischen den ersten (20) und zweiten (18) Bereichen des Substrats (12) und die Schichtdicke der Zwischenschichten (50, 30') derart gewählt ist, dass der Pumplaser (30) und der vertikal emittierende Laser (40) auf gleicher Höhe liegen.
2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- der Pumplaser (30) durch eine Halbleiterschichtfolge gebildet ist und die Zwischenschichten (50, 30') die Halbleiterschichtfolge (30') des Pumpasers (30) umfassen.
3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Zwischenschichten (50, 30') eine Spiegelschicht (50) umfassen, die einen Spiegel eines Resonators für den vertikal emittierenden Laser (40) bildet.
4. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß

die ersten, höher liegenden Bereiche (20) und die zweiten, tiefer liegenden Bereiche (18) des Substrats durch vorspringende Stege (22) voneinander getrennt sind.

- 5 5. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 4,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die vorspringende Stege (22) für die von dem Pumplaser (30)
erzeugte Strahlung transparent sind.
- 10 6. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden An-
sprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Spiegelschicht als Bragg-Spiegel (50) ausgebildet ist.
- 15 7. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden An-
sprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
der vertikal emittierende Laser (40) durch eine Halbleiter-
schichtenfolge gebildet ist, die als strahlungserzeugende ak-
20 tive Schicht (44) eine Quantentopfstruktur aufweist.
8. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden An-
sprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
25 im Betrieb die von dem Pumplaser (30) erzeugte Strahlung zum
Pumpen des vertikal emittierenden Lasers (40) in lateraler
Richtung in eine aktive Schicht (44) des vertikal emittieren-
den Lasers eingekoppelt wird.
- 30 9. Halbleitervorrichtung nach einem der vorhergehenden An-
sprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
das Substrat (12) aus GaAs gebildet ist.
- 35 10. Verfahren zur Herstellung einer optisch gepumpten Halb-
leiterlaservorrichtung mit einem optisch vertikal emittieren-

den Laser und zumindest einem Pumplaser, wobei das Verfahren die Schritte aufweist:

- Bereitstellen eines strukturierten Substrats, das erste, höher liegende Bereiche und zweite, tiefer liegende Bereiche aufweist;
- Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge auf das Substrats;
- Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge mit einer strahlungserzeugenden aktiven Schicht, wobei der Höhenunterschied zwischen den ersten und zweiten Bereichen des Substrats derart gewählt ist, dass die kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge der ersten Bereiche mit der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge der zweiten Bereiche auf gleicher Höhe liegt um im Betrieb einen Pumplaser für den optisch vertikal emittierenden Laser zu bilden; und
- Entfernen von über der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge angeordneten Schichten in den ersten Bereichen, um dort die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge freizulegen.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß auf die kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge eine Spiegelschicht aufgebracht wird.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß nach dem Entfernen der über der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge angeordneten Schichten Kontakte auf die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge der ersten Bereiche aufgebracht werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Bereitstellen eines strukturierten Substrats das Trockenätzen eines planaren Substrats umfasst, um die er-

sten, höher liegenden Bereiche und die zweiten, tiefer liegenden Bereiche zu erzeugen.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13,
5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die ersten, höher liegenden Bereiche und die zweiten, tiefer liegenden Bereiche des Substrats durch vorspringende Stege voneinander getrennt sind.

10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die aufgebrachte Spiegelschicht als Bragg-Spiegel ausgebildet wird.

15 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die strahlungserzeugende aktive Schicht der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge als Quantentopfstruktur ausgebildet wird.

20 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 16,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
im Betrieb die von der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge erzeugte Strahlung zum Pumpen des optisch vertikal
25 emittierenden Lasers in lateraler Richtung in die aktive
Schicht der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtenfolge eingekoppelt wird.

Zusammenfassung

Optisch gepumpte Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zur Herstellung derselben

5

Bei einer optisch gepumpten Halbleiterlaservorrichtung mit einem Substrat (12) mit einer ersten Hauptfläche (14) und einer zweiten Hauptfläche (16), wobei auf der ersten Hauptfläche (14) ein Pumplaser (30) und ein von dem Pumplaser (30) optisch gepumpter vertikal emittierenden Laser (40) angeordnet sind, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß die erste Hauptfläche (14) des Substrats (12) strukturiert ist und erste, höher liegende Bereiche (20) sowie zweite, tiefer liegende Bereiche (18) aufweist, der Pumplaser (30) auf einem höher liegenden Bereich (20) des Substrats (12) angeordnet ist, und der vertikal emittierende Laser (40) über Zwischenschichten (50, 30') auf einem tiefer liegenden Bereich (18) des Substrats (12) angeordnet ist, wobei der Höhenunterschied (Δ) zwischen den ersten (20) und zweiten (18) Bereichen des Substrats (12) und die Schichtdicke der Zwischenschichten (50, 30') derart gewählt ist, dass der Pumplaser (30) und der vertikal emittierende Laser (40) auf gleicher Höhe liegen.

25 Figur 1

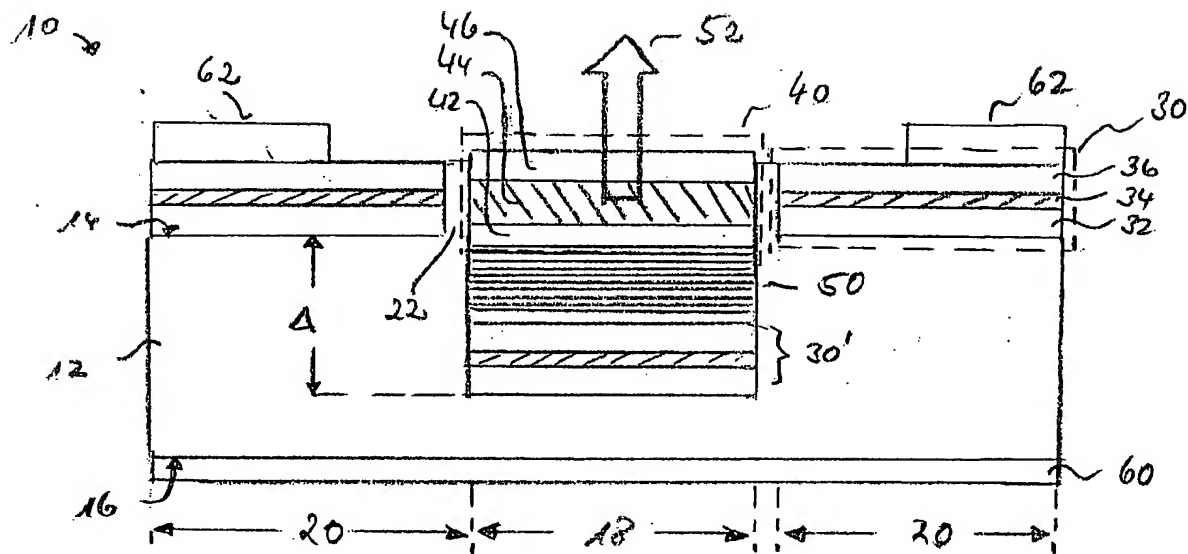


Fig. 1

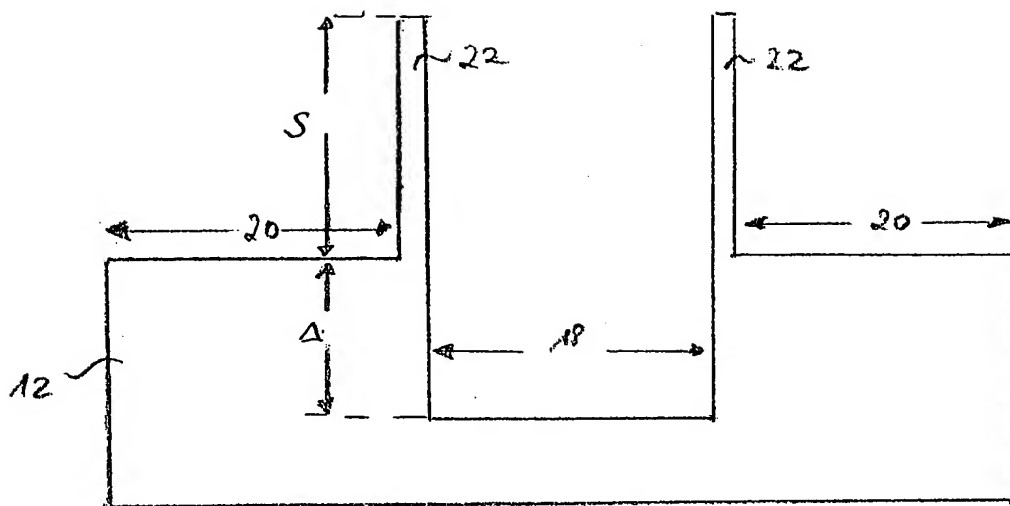


Fig. 2

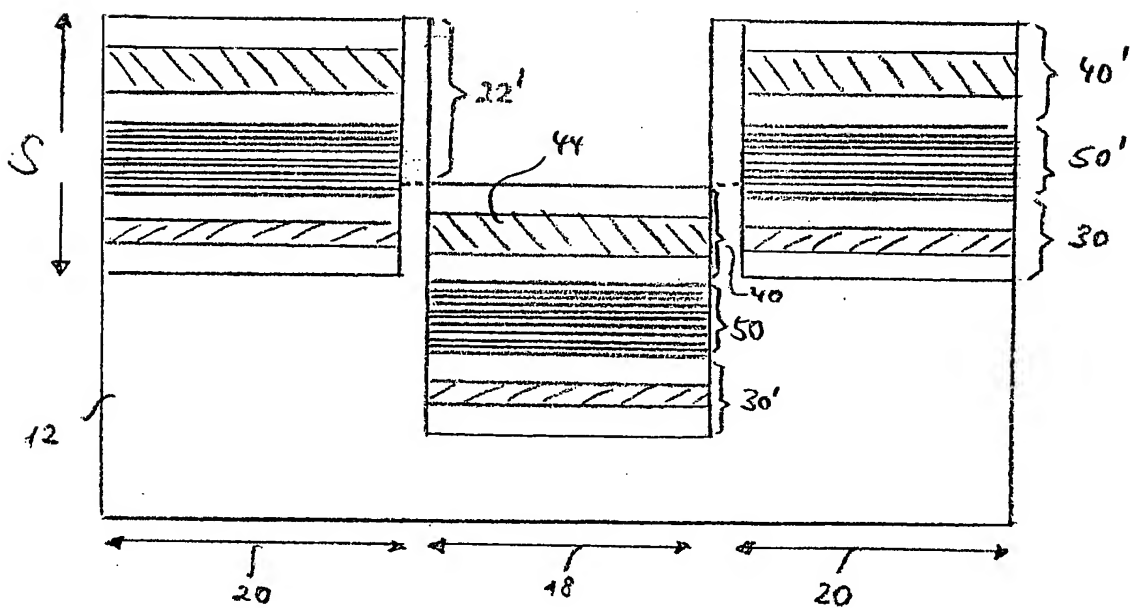


Fig. 3